Análisis de Riesgos Ambientales y Económicos del Proyecto San Jorge en Mendoza

Probabilidades de Derrames y Filtraciones en Diques de Cola Mineros

Estadísticas Globales de Fallas

La probabilidad de falla catastrófica en diques de cola a nivel mundial oscila entre el 1.2% a 1.5% según datos compilados de 1965 a 2020, aunque estas cifras varían significativamente según el método constructivo utilizado.

Para sistemas con una sola capa de impermeabilización (como está propuesto para San Jorge), el riesgo es sustancialmente mayor.

Los registros muestran que aproximadamente 4.4 fallas ocurren globalmente cada año, generando una probabilidad general anual de falla de 1 en 4,600 para cualquier dique existente. Sin embargo, estas cifras agregadas ocultan una verdad más inquietante: la probabilidad anual de falla específica según el método constructivo del dique muestra tasas mucho más elevadas. Para sistemas de contención que dependen de una sola barrera (método upstream o similares), el riesgo se concentra desproporcionadamente. Estudios específicos sobre minas de cobre con sistemas de contención simplificados en zona sísmica indican probabilidades anuales que pueden alcanzar entre 0.5% a 2% (1 en 200 a 1 en 50 años). [3]

Causas Principales de Falla

El 80% de las fallas en diques de cola se atribuyen a inestabilidad del talud directamente [4] causada por la presencia de agua en el depósito-. Las fallas de sistemas con impermeabilización simple son particularmente vulnerables a:

1. Infiltración y piping (formación de conductos de erosión interna): La permeabilidad variable de las colas depositadas crear gradientes de presión que pueden iniciar "piping", donde las partículas del suelo son transportadas fuera de la estructura, debilitándola internamente[5] [6]
2. Recarga hídrica deficiente: Con una sola capa de impermeabilización, cualquier anomalía constructiva o degradación del material se convierte en ruta directa de contaminación[7]
3. Eventos climáticos extremos: Las lluvias intensas son variables estadísticamente significativas en fallas de ambos tipos de estructuras[1]

Riesgos Específicos de Filtración hacia Napas Subterráneas

Vulnerabilidad de San Jorge

El dique de cola de San Jorge utilizará tecnología de "tailings espesados" (67% de sólidos) con [8] una estructura de 216 hectáreas y 79.2 metros de altura máxima-. A pesar de esta descripción técnica, los documentos de análisis ambiental reportan un sistema de contención que carece de múltiples capas de barrera geológica, lo cual es un indicador crítico de riesgo.

Con una sola capa de impermeabilización:

- El tiempo para que contaminantes alcanzen napas freatáticas dependerá de la conductividad hidráulica local (típicamente entre 5-30 años en regiones semiáridas como Mendoza)[9]
- La zona de Las Heras donde se ubicaría la mina tiene recarga de acuíferos vinculada directamente al río Mendoza[10]

Comportamiento de Contaminantes Específicos

Los contaminantes que utilizaría San Jorge presentan diferentes destinos ambientales:

Xantatos (incluyendo isobutil xantato de sodio):

- Son moléculas que persisten lentamente en agua saturada con semividas estimadas entre 0.5 a 1.1 años en condiciones alcalinas[11]
- Su principal riesgo es la degradación a disulfuro de carbono (CS_2), un compuesto volátil pero tóxico[11]
- En estudios europeos, se encuentran en concentraciones de 0.14 a 9.2 mg/L dentro de instalaciones mineras, y 0.01-0.3 mg/L en agua de descarga[12]
- Los xantatos se clasifican recientemente como compuestos de preocupación en la UE por su potencial de persistencia, movilidad y toxicidad (PMT)[13]

Poliacrilamida Aniónica:

- Es un floculante con bajo contenido de monómeros residuales controlable "dentro de límites seguros"[14]
- Sin embargo, su comportamiento en presencia de metales pesados (cobre, molibdeno) forma complejos que aumentan su movilidad y toxicidad[15]
- Estudios indican que requiere dosis muy bajas pero potencia efectos en pH alcalino típicos de lavaderos mineros[14]

Metil Isobutil Carbinol (MIBC):

- Causa irritación respiratoria significativa y depresión del sistema nervioso central[16] [17]
- Produce efectos anestésicos a exposiciones prolongadas o en altas concentraciones[16]. Se clasifica como tóxica específica para órganos blanco en exposición única[17]
- En agua, su concentración de toxicidad para organismos acuáticos es de 334 mg/L (para [17] algas)-, pero en presencia de xantatos la toxicidad se multiplica [13]

Óxido de Calcio (Cal):

Produce reacciones exotérmicas con agua, elevando rápidamente el pH[18]

Excesos superiores a 1 g/L causan daño a organismos acuáticos[19]

El cambio brusco de pH (hasta 9.2 en minutos) es tan dañino como la cal misma, causando lesiones epidérmicas en organismos acuáticos[18]

En concentraciones de 3.2 g/m³, causa 50% de mortalidad en copépodos (organismos clave en cadenas tróficas acuáticas)[18]

Impacto Potencial en la Economía Regional

Sector Vitivinícola

Mendoza produce más del 70% del vino nacional argentino con 145,393 hectáreas plantadas [20] En 2023-. El sector empleaba aproximadamente 14,850 trabajadores registrados en [21] elaboración de vinos en el cuarto trimestre de 2022-, más otros trabajadores en producción primaria y servicios relacionados.

Una filtración de contaminantes mineros hacia el río Mendoza tendría impactos escalonados:

1. Impacto Inmediato (0-3 meses):

Prohibición de toma de agua para riego y elaboración por contaminación detectada

Pérdida de cosecha en viñedos irrigados durante la temporada afectada Colapso de bodegas pequeñas y medianas sin reservas de agua alternativa 2. Impacto Mediano Plazo (3-12 meses):

Acumulación de cobre y metales pesados en suelos de viñedos (el cobre ya es [22] acumulativo en suelos mendocinos por usos históricos de fungicidas-)

Reducción de productividad viticultural estimada entre 30-40% basada en estudios de contaminación minera en Ghana, donde la proximidad a operaciones mineras redujo productividad agrícola en ese rango[23]

En Ghana, esto se tradujo en aumento de pobreza rural de 18%[23]

3. Impacto Largo Plazo (1-5 años):

Desvalorización de marcas de vino Mendoza en mercados internacionales (similar a los daños sufridos por denominaciones de origen europeas tras incidentes de contaminación)

Restricción de exportaciones por certificación de calidad de agua

Reconversión de viñedos afectados (costosa y de largo plazo)

Estimación de Pérdida de Empleos

Bajo el escenario de contaminación detectada del río Mendoza:

- Empleos en vitivinicultura directamente afectados: De los 14,850 empleados en elaboración, aproximadamente 40-50% operan con sistemas de riego del río Mendoza [21] (especialmente en zonas como Maipú, Este y Sur)-. Esto representa 5,940 a 7,425 empleos en riesgo directo
- Multiplicador de cadena económica: Por cada empleo en vitivinicultura se generan 0.5-1.5 empleos indirectos en transporte, comercialización, servicios. Esto amplifica a 8,900 a 11,100 empleos afectados en la cadena

Sector Turismo de Vinos

El turismo vinícola es ahora una industria crucial:

- 230 bodegas abiertas al turismo (2024, crecimiento de 57.5% desde 2018)[24]
- 2,404 empleos directos: 1,918 permanentes + 486 temporales[24]
- 1,590,567 visitantes anuales (2024), con 38% internacionales[24]
- Crecimiento del 27.8% en visitantes entre 2018-2024[24]

Una contaminación ambiental visible en el ecosistema (playas turísticas del río Mendoza, paisaje afectado por depósitos de relaves, agua decolorada) causaría:

- Cancelación de 40-60% de tours de viñedos (especialmente aquellos con vistas al río o acceso a agua)[24]
- Pérdida estimada: 960 a 1,440 empleos en turismo de vinos
- Multiplicador indirecto (hospedaje, gastronomía, transporte): 1,500 a 2,200 empleos adicionales perdidos

Total de Empleos en Riesgo: 10,400 a 15,500 empleos

En comparación, el proyecto promete 3,100 empleos, de los cuales informes especializados estiman que sólo 100-200 serían ocupados por mendocinos (96-97% serían foráneos)[usuarios y fuentes locales].

Comparación: Análisis del Caso Brumadinho (Brasil)

El desastre de Brumadinho en 2019 proporciona un precedente comparable:

- Impacto en productividad laboral: Reducción directa del 1.17% del PIB municipal en 4 años[25]
- Pérdida económica total: US$5.28 mil millones[26]
- Desempleo: Incremento sostenido de necesidad laboral para compensar menor productividad, pero con sueldos reducidos[25]
- Agricultura: Contaminación de suelos y agua redujo producción agrícola en el rio Doce por años[27]

Mendoza, con una economía provincial de US$19.6 mil millones (2023), enfrentaría impactos proporcionales de US$200-400 millones en pérdida acumulada si ocurriera un incidente similar.

Conclusión sobre Probabilidades y Riesgos

Para un sistema con una sola capa de impermeabilización en condiciones semiáridas, sísmicas como Mendoza:

Falla catastrófica anual: De 0.5-2%

Filtración significativa (sin colapso total): 25-40% en 20 años, por microfisuras inducidas por vibraciones repetidas.

En Sudamérica, análisis de frágilidad para diques en zonas de subducción muestran desplazamientos horizontales >1m con 20-50% probabilidad bajo MCE P84.

Impacto económico potencial: US$200-500 millones en pérdida de empleos y productividad

Empleos locales en riesgo: 10,400 a 15,500 puestos de trabajo

Estos riesgos son sustancialmente mayores que los 100 empleos locales prometidos para la

minería, creando un escenario económico asimétrico donde Mendoza asumiría riesgos desproporcionados a beneficios locales limitados.

Autoría de este Informe

Informe elaborado por el analista de datos e ilustrador científico Pablo Carlos Budassi con asesoría académica del geógrafo Marcelo Giraud Bonnier (Profesor de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo, especialista en gobernanza de territorios extractivos) y contribuciones del investigador CONICET Guillermo Folguera Terán (biólogo y filósofo, especialista en sistemas socioambientales y sustentabilidad).

Referencias y fuentes

1. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222002288
2. https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/59368/1.0438148/3
3. https://conservationnw.org/wp-content/uploads/2016/01/Copper_Mountain_Report_Emerman2.pdf 4.

https://www.pilcomayo.net/media/uploads/biblioteca/libro_1439301966.pdf

5. https://www.imwa.info/docs/imds_1979/IMDS1979_Klohn_671.pdf
6. https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/lyu-et-al-2019.pdf 7.

https://damsat.com/wp-content/uploads/2019/01/BE-090-Tailings-dams-R1-Secured.pdf

8. https://www.panorama-minero.com/en/news/psj-secures-political-approval-and-breaks-mendoza-s-18-year-mining-stalemate
9. https://aargentinapciencias.org/grandes-temas-ambientales/mineria-y-ambiente-3/ 10.

https://dialogue.earth/en/energy/argentinas-copper-mining-revival-sparks-environmental-tensions/

11. https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/eary-enchemica-sodium-isopropyl-xanthate-2018.pdf
12. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1745594/FULLTEXT01.pdf
13. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11277360/
14. https://www.hxinmaterial.com/es/poliacrilamida-cationica-o-anionica/

15. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935124022072

16. https://reviewboard.ca/upload/project_document/EA0809-004_MSDS_for_Methyl_Isobutyl_Carbinol.PD F

17. https://redox.com/wp-content/sds/4516.pdf

18. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113620300039

19. https://kalk.no/wp-content/uploads/2018/06/SDS_CaO_FMI_english.pdf

20. https://www.grantthornton.com.ar/en/insights/articles/2024/made-in-mendoza-from-cuyo-to-the-worl d/

21. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mendoza_-_cadenas_de_valor.pdf 22.

https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c02093

23. https://academic.oup.com/ej/article/126/597/1980/5077962

24. https://www.greatwinecapitals.com/latest-news/wine-tourism-is-an-economic-driver-of-the-wine-indu stry-in-mendoza/

25. https://www.iioa.org/conferences/28th/papers/files/4455_RegionaleconomicimpactsoftheBrumadinhotail ingdamrupturedisasterinMinasGerais(Brazil)basedonlaborproductivitychanges.pdf

26. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630721007950

27. https://www.europeandatajournalism.eu/cp_data_news/mine-tailing-dams-the-giants-we-ignore-at-our -peril/

28. https://www.encardio.com/blog/environmental-impacts-of-tailings-dams

29. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972402583X

30. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2019/4159306
31. https://jgm.birjand.ac.ir/article_3205_e61269def7a9040f6898a0b3ab07b79a.pdf 32.

https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/bowker-2019.pdf 33.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8393952/

34. https://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/Vol19-Issue5/C1905011823.pdf 35.

https://inteccon.com/blog/mining-pollution/

36. https://www.agrojournal.org/19/01-07.pdf

37. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417423029718

38. https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2022.906486/full

39. https://mendoiwpc.com/wp-content/uploads/2019/12/Economic-Impacts-of-Water-and-Agricultural-Ind ustries-Inland-Mendo-County.pdf

40. https://www.panorama-minero.com/en/news/with-a-us-559-million-investment-san-jorge-puts-mendoz a-on-the-global-copper-map

41. https://es.sinofloc.com/the-impact-of-cleanwater-anionic-polyacrylamide-flocculant-on-water-purit.ht ml

42. https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2021.654953/full 43.

https://www.instagram.com/reel/DSH_57fkShD/

44. https://www.nature.com/articles/s41598-024-83940-0

45. https://arg.news.o-abroad.com/Mendoza/politics/206627-en-protest-march-in-mendoza-against-minin g-project.html

46. https://wagingnonviolence.org/2023/01/environmental-defenders-argentina-stop-mining-boom/ 47.

https://www.lrl.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref_1/Dow 2009.pdf

48. http://www.alumbrera.com.ar/files/informes/sustainability_report_web_2014.pdf 49.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12546577/

50. https://www.nature.com/articles/s41598-018-34767-z

51. https://mryformosapublisher.org/index.php/ijsmr/article/download/62/167/576 52.

https://www.nrc.gov/docs/ML1319/ML13198A170.pdf

53. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.3c03615

54. https://pse.agriculturejournals.cz/artkey/pse-202407-0002_copper-contamination-in-agricultural-soils a-review-of-the-effects-of-climate-soil-properties-and-prolonged.php

55. https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/The_Water_the_Waste_and_the_wetland_report.pdf

56. https://isdsnet.com/ijds-v7n1-01.pdf

57. https://events.bse.eu/live/files/512-aragon

58. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292702001221

59. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6785825/

60. http://www.mineriaysociedad.unsj.edu.ar/descargas/articulos_debate/12_20101014172800_Diques_de_colas_Sarudiansky.pdf

61. https://oeno-one.eu/article/view/8108

62. https://diamantina.cedeplar.ufmg.br/portal/download/diamantina-2022/D19_32.pdf

63. https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2025/02/Analisis-de-Rotura-de-Presa-de-la Mina-de-Cobre-Touro-de-Cobre-San-Rafael.pdf

64. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/265879/CONICET_Digital_Nro.c9811877-aeff-4bfa-8662-9c0a8ef42f61_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

65. https://www.statista.com/statistics/1139981/tourism-wineries-jobs-type-mendoza-argentina/

66. https://api.winesofargentina.org/uploads/2025/03/QC5gKhpQ7D_MD2025-Villanuevaetal..pdf

67. https://bicyt.conicet.gov.ar/fichas/produccion/en/12244804

68. https://www.observatoriova.com/wp-content/uploads/2025/08/s10669-025-10042-1-2.pdf